Machine Translated by Google

Informes científicos https://doi.org/10.1038/s41598-026-40098-1

Artículo en prensa

Coexposición ambiental a pesticidas organofosforados y piretroides y estado de salud mental en comunidades rurales cercanas a una instalación de cría industrial de cerdos

Recibido: 26 de agosto de 2025

Aceptado: 10 de febrero de 2026

Published online: 18 February 2026

Citar este artículo como: Hojas R., Norambuena J., Ponce A. et al. Coexposición ambiental a pesticidas organofosforados y piretroides y estado de salud mental en comunidades rurales cercanas a una granja industrial de cerdos. Sci Rep (2026). https://doi.org/10.1038/s41598-026-40098-1

Rocío Hojas, José Norambuena, América Ponce, Joaquín Toro, Jandy Adonis-Rojas, Sebastián Pozo, Bárbara Figueroa, Francisca Cabezas, Cristian Valdés, Liliana Zúñiga-Venegas, Benjamín Castillo, Natalia Landeros, Boris Lucero, Ramón D. Castillo, Cynthia Carrasco, Juan Pablo Gutiérrez-Jara, Catalina Saavedra, Patricio Yáñez, María Ignacia Valdés, María Victoria Rodríguez, Andrés Canales-Johnson, Tristan Bekinschtein & María Teresa Muñoz-Quezada

ARTÍCULO EN PRENSA

Proporcionamos una versión sin editar de este manuscrito para facilitar el acceso anticipado a sus hallazgos. Antes de su publicación final, se realizarán nuevas ediciones. Tenga en cuenta que puede contener errores que afecten al contenido; se aplican todas las exenciones de responsabilidad legales.

Si este artículo se publica bajo un modelo de revisión por pares transparente, entonces Los informes de revisión se publicarán junto con el artículo final.

© El/Los autor(es) 2026. Acceso abierto. Este artículo está licenciado bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional, que permite el uso, intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente al/los autor(es) original(es) y a la fuente, se proporcione un enlace a la licencia Creative Commons y se indique si se realizaron cambios. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo están incluidos en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en una línea de crédito al material. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons del artículo y el uso que pretende no está permitido por la regulación legal o excede el uso permitido, deberá obtener permiso directamente del titular de los derechos de autor. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Coexposición ambiental a organofosforados y piretroides pesticidas y estado de salud mental en comunidades rurales cercanas una instalación de cría industrial de cerdos

Rocío Hojas , José Norambuena , América Ponce , Joaquín Toro , Jandy Adonis , Sebastián Pozo , Bárbara Figueroa , Francisca Cabezas , Cristian Valdés , Liliana Zúñiga-Venegas , Benjamín Castillo , Natalia Landeros , Boris Lucero , Ramón D. Castillo , Cynthia Carrasco , Juan Pablo Gutiérrez , Catalina Saavedra , Patricio Yáñez , María Ignacia Valdés , María Victoria Rodríguez , Andrés Canales-Johnson , Tristan Bekinschteink, María Teresa Muñoz-Quezada m*

Afiliaciones

Facultad de Medicina, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 1027, Santiago, Chile. Correo electrónico: rocio.hojas@ug.uchile.cl; jose.norambuena@ug.uchile.cl; américa.ponce@ug.uchile.cl; joaquín.toro@ug.uchile.cl

Maestría en Salud Pública, Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 939, Santiago, Chile. Correo electrónico: jandy.adonis@gmail.com

Especialidad Médica en Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 1027, Santiago, Chile. Correo electrónico: sebastian.pozo@ug.uchile.cl

Escuela de Ingeniería en Biotecnología, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile. Correo electrónico: barbara.figueroa@alu.ucm.cl; cvaldesv@ucm.cl

Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile. Correo electrónico: lzuniga@ucm.cl; bcastillo@ucm.cl; jgutierrez@ucm.cl

Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Chile, Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile. Correo electrónico: francisca.cabezas.m@ug.uchile.cl

Facultad de Medicina, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile. Correo electrónico: nlanderos@ucm.cl

Centro de Investigación en Neuropsicología y Neurociencias Cognitivas (CINPSI Neurocog), Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile. Correo electrónico: blucero@ucm.cl; cynthia.stefania1998@gmail.com; maignaciavaldes@gmail.com; m.victoriarodriguez.c@gmail.com; andres.canales.j@gmail.com

Centro de Investigación en Ciencias Cognitivas, Facultad de Psicología, Universidad de Talca, Avenida Lircay s/n, Talca, Chile.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Correo electrónico: racastillo@utalca.cl; catalina.saavedra.aguilera@gmail.com; patricio.yanez.astorga@hotmail.com
Doctorado en Psicología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile.
Laboratorio de Conciencia y Cognición, Departamento de Psicología, Universidad de Cambridge, Downing Street, Cambridge CB2 3EB, Reino Unido.

Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 939, Santiago, Chile. Correo electrónico: mtmunoz@uchile.cl
m Centro para la Prevención y el Control del Cáncer (CECAN), Santiago, Chile

*Autor correspondiente
María Teresa Muñoz-Quezada
Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 939, Santiago, Chile.
Correo electrónico: mtmunoz@uchile.cl

Abstracto

Exposición crónica a residuos de plaguicidas provenientes de explotaciones agropecuarias a gran escala

Las operaciones siguen estando insuficientemente caracterizadas, en particular entre

Poblaciones rurales que viven cerca de instalaciones de cría industrial de cerdos. Este estudio...

Examinaron la asociación entre la coexposición a organofosforados y

Residuos de pesticidas piretroides en el suelo y el agua de pozo y la salud mental

Resultados entre adultos que residen cerca de una instalación de cría industrial de cerdos

En zonas rurales de Chile. Se realizó un estudio transversal con 82 adultos.

Se analizaron muestras de suelo peridoméstico y agua de pozo mediante gas

Cromatografía-espectrometría de masas en tándem para detectar cinco pesticidas:

clorpirifos, diazinón, pirimifos-metilo, cipermetrina y lambda-

cihalotrina. Los resultados de salud mental incluyeron síntomas depresivos,

Ansiedad, afecto emocional y calidad de vida relacionada con la salud, evaluadas

con instrumentos validados. Se utilizaron modelos de regresión lineal robustos,

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

ajustando por edad, sexo, nivel educativo e índice de masa corporal. Superior
Las concentraciones de clorpirifos en el agua se asociaron con un aumento
puntuaciones de síntomas depresivos (β = 0,180; IC del 95 %: 0,016, 0,345) y menores
calidad de vida relacionada con la salud mental (β = −0,713; IC del 95%: −1,288,
-0,137). Las concentraciones de cipermetrina en el agua se asociaron con
mayor distrés psicológico (β = 0,324; IC del 95 %: 0,124, 0,525). En el suelo,
El pirimifos-metilo se asoció positivamente con síntomas depresivos
(β = 21,29; IC del 95%: 1,78, 40,79), mientras que la cipermetrina mostró un
asociación inversa (β = −3,66; IC del 95%: −6,99, −0,33). Lambda-
Las concentraciones de cihalotrina en el suelo se asociaron inversamente con el total
calidad de vida (β = −15,13; IC del 95%: −27,42, −2,84). El sexo masculino fue
se asoció positivamente con la calidad de vida general (β = 14,96; IC del 95 %:
3.14, 26.79).
ARTÍCULO EN PRENSA
Estos hallazgos indican asociaciones entre los pesticidas ambientales
Residuos en el suelo y el agua y múltiples dimensiones de la salud mental
entre las poblaciones rurales que viven cerca de las explotaciones industriales de cría de cerdos.
Se necesitan estudios longitudinales para aclarar las relaciones temporales y
posibles efectos acumulativos.

Palabras clave: Pesticidas, depresión, ansiedad, exposición ambiental,
salud mental

Introducción

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

La expansión mundial del uso de pesticidas ha incrementado la producción agrícola.
productividad, mientras que la exposición a pesticidas también se ha asociado con
efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. Exposición a plaguicidas,
En particular, los organofosforados, se han relacionado con efectos agudos y crónicos.
resultados neurotóxicos, así como síntomas psiquiátricos que incluyen
depresión, ansiedad e ideación suicida1-5. Autointoxicación con pesticidas
representa aproximadamente entre el 14 y el 20% de los suicidios a nivel mundial, lo que corresponde
a más de 110.000 muertes al año, con una carga mayor en los países de bajos y medianos ingresos.
países de ingresos medios donde aún existen plaguicidas altamente peligrosos
ampliamente accesible4,6.

Exposición a pesticidas ambientales y no ocupacionales

ARTÍCULO EN PRENSA

La exposición a pesticidas ambientales es común en entornos rurales.
La exposición ocupacional se produce a través de vías como la deriva desde
campos agrícolas cercanos, contaminación de fuentes de agua domésticas,
y los residuos en el suelo y el polvo peridomésticos6,7. Los estudios muestran que
personas que no estén directamente involucradas en la aplicación de pesticidas, incluidas
Las mujeres, los niños y los adultos mayores a menudo tienen niveles detectables de orina.
metabolitos de pesticidas, comúnmente asociados con la proximidad residencial
a cultivos tratados o al uso doméstico de insecticidas8,9.

Estos hallazgos indican la relevancia de los aspectos residenciales y ambientales.
fuentes de exposición, particularmente en zonas con actividad agroindustrial intensiva
actividad. El monitoreo de residuos de pesticidas en el suelo y el agua puede proporcionar una

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO ACEPTADO

Indicador práctico de la exposición ambiental acumulada en entornos con capacidad limitada de biomonitoreo6.

Evidencia de América Latina y el Caribe

En América Latina y el Caribe, las revisiones sistemáticas han informado asociaciones entre la exposición a pesticidas y una variedad de efectos adversos para la salud resultados, incluidos daños genotóxicos y alteraciones neuroconductuales, Trastornos reproductivos y endocrinos, complicaciones del embarazo y mayor riesgo de cáncer10. Las poblaciones examinadas con mayor frecuencia en Esta literatura son trabajadores agrícolas y niños, grupos que son predominantemente expuestos a organofosforados, carbamatos, herbicidas, y otros compuestos pesticidas11. La exposición crónica puede ocurrir a través de vías como la dispersión aérea, la aplicación doméstica y la contaminación ocupacional contacto e ingestión de alimentos o agua contaminados12. Ambiental Los sistemas de vigilancia sanitaria en la región tienen un alcance limitado y capacidad técnica, con limitaciones en la detección y respuesta, especialmente en las zonas rurales13.

ARTÍCULO EN PRENSA

Un metanálisis reciente informó una asociación estadísticamente significativa entre la intoxicación por pesticidas y los síntomas depresivos (OR = 2,94; 95% IC = 1,79–4,83; p < 0,001)14, mientras que la exposición no aguda no fue asociado con un mayor riesgo. A nivel bioquímico, Los organofosforados inhiben la acetilcolinesterasa (AChE) y también son asociado a mecanismos como el estrés oxidativo,

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

procesos neuroinflamatorios, disfunción mitocondrial y
alteraciones en la neurotransmisión serotoninérgica y glutamatérgica, que
se han implicado en la neurobiología de la depresión1,15-18. Estos
Los mecanismos pueden afectar las regiones del cerebro, incluidas la amígdala y
hipocampo, que están involucrados en la regulación de las emociones y el estrés.
Respuesta relacionada17.

La exposición ocupacional a largo plazo a los organofosforados ha sido...
asociado en varios estudios con una mayor frecuencia de problemas psiquiátricos
síntomas, incluyendo ansiedad, ideación suicida y deterioro cognitivo
deterioro cognitivo, incluso en ausencia de episodios de intoxicación aguda[1],18. En
Además, las intervenciones regulatorias nacionales, como restricciones o prohibiciones
sobre plaguicidas específicos altamente peligrosos en países como Sri Lanka
ARTÍCULO EN PRENSA
y Corea del Sur, se han asociado con reducciones en las tasas de suicidio.
(37% a 70%), mientras que los indicadores de producción agrícola se mantuvieron
durante los mismos períodos 3,5.

Evidencia de Chile

En Chile, la Región del Maule, ubicada en la zona centro-sur, es
caracterizado por altos niveles de actividad agrícola y uso de pesticidas19.
Ocupa el segundo lugar a nivel nacional en ventas de agroquímicos (15,7%) y en
superficie cultivada, siguiendo las regiones de O'Higgins y la Araucanía,
respectivamente20. Los datos de vigilancia nacional indican que en 2023, la
La Región del Maule representó el 25% de todos los casos notificados de enfermedad aguda.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

intoxicación por plaguicidas21. Estudios realizados en la región han
Se ha documentado una extensa exposición ambiental que afecta tanto a los niños
y adultos. Un estudio longitudinal reciente informó una asociación entre
niveles urinarios de metabolitos de fosfato de dietilo alquilo (DEAP),
Biomarcadores de exposición a organofosforados y síntomas depresivos
entre los trabajadores agrícolas varones, con un patrón dosis-respuesta
observado incluso a niveles de exposición inferiores a los umbrales clínicos22.
En la Región de Coquimbo, una zona semiárida del centro-norte de Chile con
Producción intensiva de frutas y verduras, estudios describen enfermedades crónicas
efectos sobre la salud asociados con la exposición a pesticidas, incluidos los genotóxicos
alteraciones, deterioro neurocognitivo y aumento del estrés oxidativo
marcadores en trabajadores agrícolas y residentes que viven cerca de campos tratados
13, 23, 24. Se han descrito patrones similares en otras regiones del centro.
Chile, que involucra exposición tanto ocupacional como ambiental
contextos.

La zona rural conocida como “El Arbolillo”, que comprende sectores de San
Javier y Cauquenes, se caracteriza por la presencia de un sector industrial
explotación porcina y actividades agrícolas circundantes. Desde la
Al inicio de las operaciones, los residentes han reportado olores persistentes,
Aumento de la densidad de moscas y uso intensificado de insecticidas en las zonas cercanas.
hogares.

Durante la fase preliminar de este estudio, más de 200
Se revisaron documentos administrativos, legales y técnicos. Estos

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Los registros indicaron que los organofosforados (diazinón, pirimifos-metil)
y se aplicaron sistemáticamente pesticidas piretroides (cipermetrina) como
parte de las prácticas de control de vectores25. Estas prácticas se han asociado
con la exposición ambiental repetida y han impulsado la intervención oficial
inspecciones y acciones colectivas de los residentes locales.

Objetivo del estudio

El objetivo de este estudio fue examinar la asociación entre co-
exposición a residuos de plaguicidas organofosforados y piretroides en
Suelo peridoméstico y agua de pozo y resultados de salud mental entre
adultos que residen cerca de una instalación de cría industrial de cerdos en una zona rural de Chile.
Este estudio proporciona datos sobre la relación entre la enfermedad crónica
ARTÍCULO EN PRENSA
Exposición simultánea a residuos de organofosforados y piretroides en
Matrices ambientales y resultados de salud mental en zonas rurales
poblaciones no involucradas ocupacionalmente en la aplicación de plaguicidas.
aborda la evidencia limitada sobre la coexposición ambiental a estos
Clases de pesticidas y su posible asociación con la salud mental
resultados, particularmente en poblaciones rurales que viven cerca de industrias
operaciones ganaderas. Esta evidencia es relevante en Chile y en otros
Países de América Latina o de ingresos bajos y medios, donde la regulación
Los marcos y sistemas de vigilancia ambiental siguen siendo limitados.

Resultados

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Se reclutaron un total de 95 personas y 82 completaron el programa de salud mental.
evaluaciones de salud y se incluyeron en el análisis. La muestra
incluyó 44 hombres (54,1%) y 38 mujeres (45,9%), con una edad media
de 52,4 años (DE 15,2) y un rango de 18 a 78 años. Estado civil
mostró que el 54,1% estaban casados, el 25,9% eran solteros y el 9,4% eran
convivían, el 8,2% estaban separados o divorciados y el 2,4% eran viudos.
Para el análisis, los participantes fueron clasificados como si vivían con una pareja.
(casados o en convivencia; 63,5%) o no conviviendo con pareja (36,5%).

En términos de nivel educativo, el 31,8% había completado la primaria.
educación o menos, el 35,3% tenía algún tipo de educación secundaria y el 32,9% tenía
educación superior (técnica o universitaria). Para fines analíticos,
La educación se agrupó en dos categorías: el 52,9% no había completado
ARTÍCULO EN PRENSA
educación secundaria, y el 47,1% había completado la educación secundaria o superior
educación.

El ingreso per cápita mensual medio fue CLP $205.302 (DE =
$133,998), equivalente a aproximadamente USD $217 (SD = $141) en un
Tipo de cambio de 945 CLP/USD (abril de 2025). Los ingresos reportados variaron
Desde CLP $25.000 (USD $26) hasta CLP $666.666 (USD $705). El
La duración media de residencia en la zona fue de 16,3 años (DE = 21,5).

Respecto al consumo de tabaco, el 67,1% de los participantes fueron clasificados como
la categoría de bajo uso, el 28,2% dentro del grupo de uso moderado y el 4,7%
Dentro de la categoría de alto consumo. En cuanto al consumo de alcohol, el 89,4% se encontraba en

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO ACEPTADO

el grupo de bajo uso, el 8,2% en el grupo de uso moderado y el 2,4% en el
Categoría de alto consumo. Niveles generales de consumo problemático de sustancias en adultos.
eran bajos.

En el análisis combinado de suelo peridoméstico y agua de pozo doméstico
En las muestras (Tabla 1), se identificaron múltiples residuos de pesticidas. En el suelo
(µg/kg), las frecuencias de detección fueron 57,32% para clorpirifos, 13,41% para
diazinón, 9,76% para lambda-cihalotrina, 7,32% para pirimifos-metilo,
y 4,28% para cipermetrina. En muestras de agua de pozo (µg/L), destinadas a
consumo humano o riego, las tasas de detección fueron del 39,47% para
clorpirifos, 25% para cipermetrina, 22,37% para diazinón, 15,79% para
pirimifos-metilo y 9,21% para lambda-cihalotrina.

ARTÍCULO EN PRENSA

Tabla 1. Concentraciones medidas de residuos de plaguicidas en peridomésticos
muestras de suelo (µg/kg) y de agua de pozo para consumo humano y
riego (µg/L)*

							Percentiles			
Residuos de pesticidas en muestras de suelo peridoméstico	Significar	Medios de comunicación norte		Mínimo	Máximo	% de muestras > Nivel de detalle	25º	50º	75º	95º
Cipermetrina 0,46		0.25	1.17	0,25	7.76	4.28	0,25	0,25	0,25	0,25
Clorpirifos	5.37	3.30	12,96	0.04	84.02	57.32	0.04	3.30	6.02	13.23
Diazinón	0,43	0.01	1.15	0.01	4.27	13.41	0.01	0.01	0.01	3.98
Pirimifós-metilo	0,17	0.06	0,49	0.06	2.85	7.32	0.06	0.06	0.06	0,35
Lambda-cihalotrina	0,55	0.32	0,74	0,32	3.71	9.76	0,32	0,32	0,32	2.67
							Percentiles			

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

							Percentiles			
Residuos de pesticidas en muestras de suelo peridoméstico	Significar	Medios de comunicación norte		Mínimo	Máximo	% de muestras > Nivel de detalle	25º	50º	75º	95º
Residuos de pesticidas en muestras de agua de pozo	Mea norte	A mí día norte		Mínimo	Máximo	% de muestras > Nivel de detalle	25º	50º	75º	95º
Cipermetrina 1.80		0.25	2.83	0,25	8.62	25.00	0,25	0,25	0,25	8.32
Clorpirifos	8.08	0.04	15.20	0.04	61.57	39.47	0.04	0.04	9.09	54.19
Diazinón	0,42	0.01	0,95	0.01	4.58	22.37	0.01	0.01	0.01	2.17
Pirimifós-metilo	0,22	0.06	0,36	0.06	1.25	15,79	0.06	0.06	0.06	1.06
Lambda-cihalotrina	0,70	0.32	1.13	0,32	4.13	9.21	0,32	0,32	0,32	4.05

*Se recolectaron muestras de suelo alrededor del perímetro de los hogares participantes y las muestras de agua corresponden a fuentes utilizadas para beber y/o irrigar en los hogares participantes.

El clorpirifos fue el compuesto detectado con mayor frecuencia tanto en el suelo y agua. La concentración media en el suelo fue de 5,37 µg/kg, con un rango de 0,04 a 84,02 µg/kg. En agua, la concentración media fue de 8,08 µg/L. con un rango de 0,04 a 61,57 µg/L. Cipermetrina, diazinón, pirimifos-El metilo y la lambda-cihalotrina se detectaron con poca frecuencia. Mediana y los valores intercuartiles para estos compuestos estaban en o por debajo del límite analítico de detección.

ARTÍCULO EN PRENSA

La distancia residencial a varios usos del suelo mostró correlaciones negativas con concentraciones de pesticidas en el suelo y el agua, lo que indica mayores residuos niveles a distancias más cortas. El clorpirifos en el agua exhibió la Patrones más fuertes y consistentes, con concentraciones más altas cerca de áreas forestales (sitios 2, 6, 7 y 8), viñedos (sitios 1 y 4) y

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO

huertos de cerezos. Los coeficientes de Spearman oscilaron entre –0,255 y –0,431 ($p < 0,01$), valores que caen dentro del rango que normalmente se interpretan como débiles ($|\rho| < 0,30$) a asociaciones monótonas moderadas ($0,30 \leq |\rho| < 0,50$).

Esta clasificación indica que, aunque estadísticamente significativa, la mayoría Las asociaciones representan gradientes de concentración bajos a moderados. cambios con la distancia, en consonancia con procesos como la deriva o escorrentía superficial (Tabla 2).

Tabla 2. Fuentes ambientales asociadas con mayores residuos de plaguicidas niveles basados en la proximidad residencial*

Fuente de exposición	Plaguicida asociado	Lancero's Rho	valor p
Sitio forestal 2	Clorpirifos (agua)	−0,255	0.012
Sitio forestal 3	Cipermetrina (suelo)	−0,228	0.018
Sitio forestal 5	Diazinón (suelo)	−0,187	0.043
	Lambda-cihalotrina (suelo)	-0.190	0.041
Sitio forestal 6	Clorpirifos (agua)	−0,324	0.002
	Pirimifós-metilo (agua)	-0.304	0.003
	Lambda-cihalotrina (agua)	-0,269	0.009
Sitio forestal 7	Clorpirifos (agua)	−0,407	<0,001
	Pirimifós-metilo (agua)	-0.352	<0,001
	Lambda-cihalotrina (agua)	-0.332	0.001
Sitio forestal 8	Cipermetrina (suelo)	−0,222	0.020
	Pirimifos-metilo (suelo)	-0,205	0.030
	Clorpirifos (agua)	-0.312	0.003
Sitio forestal 9	Cipermetrina (agua)	−0,253	0.013

ARTÍCULO EN PRENSA

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

	Diazinón (agua)	-0.190	0.048
Sitio Forestal Ce1	Diazinón (agua)	−0,194	0.037
	Diazinón (suelo)	-0,193	0.045
Sitio forestal Ce2	Cipermetrina (agua)	-0,268	0.009
	Diazinón (agua)	-0,201	0.039
Viñedo 1	Diazinón (suelo)	-0,184	0.046
	Diazinón (agua)	-0.431	<0,001
	Pirimifós-metilo (agua)	-0.363	<0,001
	Pirimifos-metilo (suelo)	-0.314	0.003
Viñedo 2	Cipermetrina (suelo)	−0,209	0.028
Viñedo 4	Pirimifos-metilo (suelo)	-0,202	0.032
	Clorpirifos (agua)	-0.383	<0,001
	Pirimifós-metilo (agua)	-0,195	0.044
	Lambda-cihalotrina (agua)	-0,194	0.045
Huertos de cerezos	Clorpirifos (agua)	-0,299	0.004
	Diazinón (agua)	-0,271	0.008
	Pirimifós-metilo (agua)	-0.362	<0,001
	Pirimifós-metilo (agua)	-0,261	0.010

ARTÍCULO EN PRENSA

* Los coeficientes de correlación de rangos de Spearman se interpretaron utilizando umbrales comúnmente aplicados: los valores inferiores a |0,30| se clasificaron como débiles, los comprendidos entre |0,30| y |0,50| como moderados, y los superiores a |0,50| como asociaciones monótonas fuertes. Estas categorías se utilizaron para contextualizar la magnitud de las correlaciones reportadas en la Tabla 2.

La cipermetrina en el suelo se asoció con la proximidad a sitios forestales 3 y 8, y el viñedo Sitio 2. En el agua, las concentraciones de cipermetrina fueron correlacionado con la distancia de los Sitios 9 y Forestal Ce2. El diazinón fue asociado con ambos suelos (Sitios 5, Ce1 forestal y Sitios de viñedos 1) y 4) y la contaminación del agua (Sitios 9, Ce1 Forestal, Ce2 Forestal, viñedos y huertos de cerezos). El pirimifos-metilo mostró resultados positivos. asociaciones en ambas matrices cerca de sitios de viñedos y bosques, y en

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Muestras de agua cerca de huertos de cerezos. La lambda-cihalotrina en el agua fue...
asociado con los sitios forestales 6 y 7, el sitio de viñedos 1 y el sitio de cerezos
huertos, mientras que su detección en el suelo se limitó al Sitio 5 (Tabla 2).

Respecto a la exposición no ocupacional, el 69,0% de los participantes reportaron
usando insecticidas en sus hogares. Según los participantes, esto
La práctica está impulsada en gran medida por la necesidad de controlar las altas densidades de moscas.
asociado con olores, desechos animales y lodos de las inmediaciones
Instalación porcina industrial. Entre los encuestados, el 90,5% afirmó que la encuesta...
El punto sobre el uso de plaguicidas en huertos familiares no era aplicable. Entre
El resto de los individuos, 4,8%, reportaron usar azufre, 2,4%
biopesticidas y 2,4% de piretroides, lo que indica un uso limitado pero variado en
cultivo doméstico.

ARTÍCULO EN PRENSA

Entre quienes informaron haber usado insecticidas en interiores, los piretroides fueron los más comunes.
citado con mayor frecuencia (48,8%), seguido de combinaciones de
organofosforados y piretroides (10,7%), y organofosforados
solo (6,0%). Una pequeña proporción (2,4%) informó otros insecticidas y
El 32,1% indicó que la pregunta no aplicaba.

Los hallazgos descriptivos (Tabla 3) indican niveles moderados a altos de
afecto positivo entre los participantes (media = 36,48, DE = 6,92 en una escala de 10–
50 escala) y niveles comparativamente bajos de afecto negativo (media =
17,18, DE = 7,29), según la escala PANAS.

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Los síntomas depresivos evaluados con la CES-D arrojaron una puntuación media de 14,64 (DE = 9,26), lo que indica variación en la gravedad de los síntomas a lo largo del muestra, con algunos participantes potencialmente excediendo lo establecido umbral clínico.

La calidad de vida relacionada con la salud, medida mediante el SF-12, mostró puntuaciones medias moderadas para el rendimiento físico (media = 46,53) y mental funcionamiento (media = 45,84), con amplias desviaciones estándar (ambas superando los 28 puntos). La puntuación compuesta del SF-12 promedió 49,37, cerca hasta el punto medio de la escala, nuevamente con amplia dispersión.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de salud mental y calidad de vida indicadores entre los participantes del estudio

ARTÍCULO EN PRENSA

						Percentiles			
	Significar	Medios de comunicación norte	DAKOTA DEL SUR	Mín.	Máx.	25.º	50.º	75.º	95.º
Positivo afectar (PANAS+)	36.48	37.0	6.92	20	50	32.0	37.0	41.0	47.0
Afecto negativo (PANAS-)	17.18	15.0	7.29	10	45	12.0	15.0	20.0	30.0
Síntomas depresivos (CES-D)	14.64	13	9.26	1	42	7.0	13.0	19.0	34.4
Funcionamiento físico (SF-12 Físico)	46.53	49.4	28.34	0.0	100	19.3	49.4	66.3	94.0
Funcionamiento mental	45.84	45.8	28.29	0.0	100	15.7	45.8	72.3	89.2

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

(SF-12 Mental)									
Funcionamiento general (SF-12 en total)	49.37	50.0	29.26	0.0	100	24.1	50.0	72.3	95.02
Depresión & Ansiedad (Cuartel General-12)	2.98	2	2.74	0	11	1.0	2.0	4.0	8.8

El malestar psicológico, medido por el GHQ-12, tuvo una puntuación media de 2,98 (DE = 2,74), con un rango de 0 a 11. Esto indica que mientras que un Una parte importante de los participantes reportó un bajo nivel de angustia, otros presentó niveles elevados de problemas psicológicos

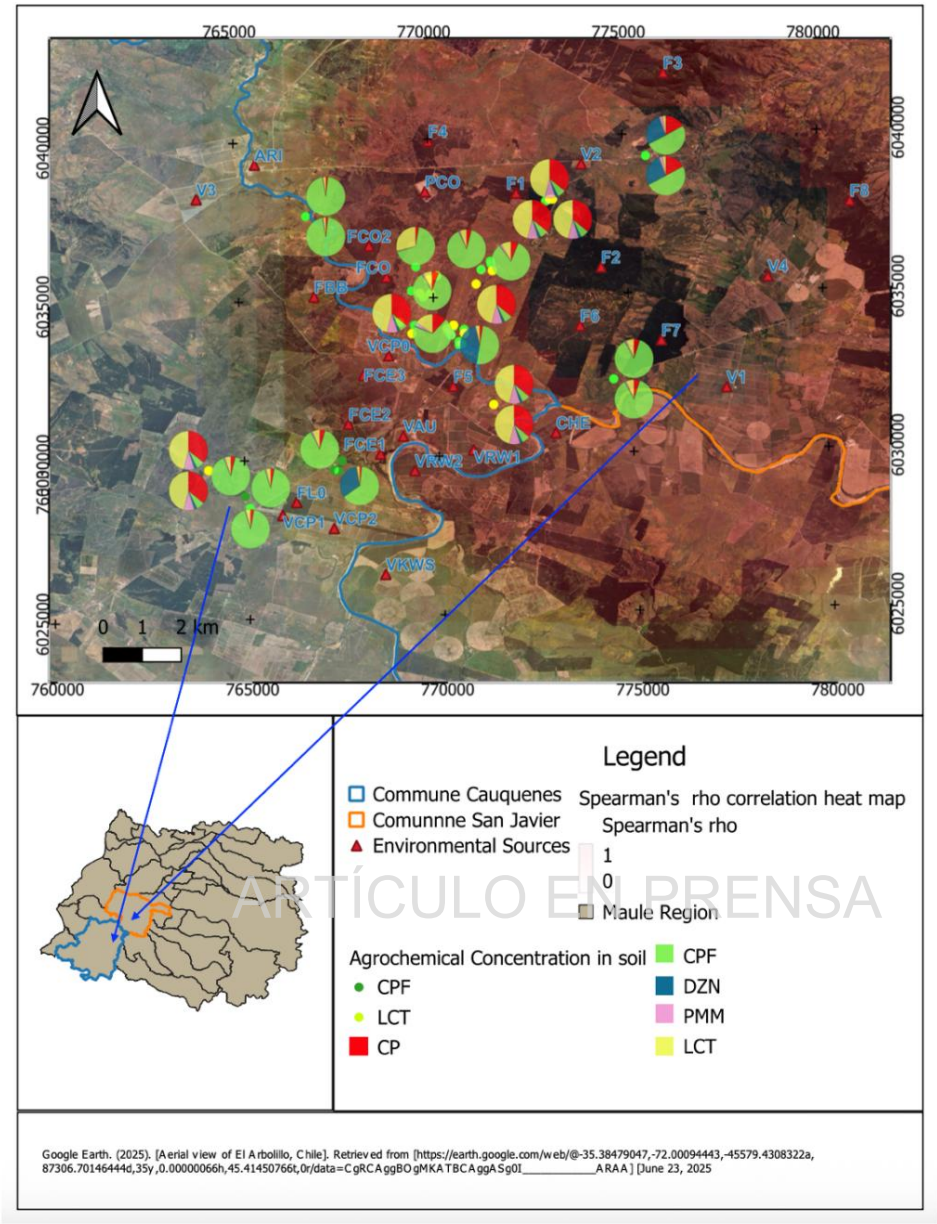
La figura 1 presenta la distribución espacial de los residuos agroquímicos en muestras de suelo peridoméstico de hogares rurales de las comunas de Cauquenes y San Javier, Región del Maule. Cada gráfico circular en la

ARTÍCULO EN PRENSA

El mapa satelital corresponde a un sitio de muestreo y muestra la relativa proporciones de plaguicidas detectados: clorpirifos (CPF), diazinón (DZN), pirimifos-metilo (PMM), cipermetrina (CP) y lambda-cihalotrina (LCT).

Figura 1. Distribución espacial de residuos agroquímicos en muestras de suelo. de hogares rurales de las comunas de Cauquenes y San Javier, Maule Región*

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA



Fuente del mapa: imágenes satelitales de Google Earth (© Google; imágenes aéreas de El Arbolillo, Región del Maule, Chile; consultado el 23 de junio de 2025).
Creación y edición de mapas: Los autores crearon los mapas utilizando QGIS (versión 3.34.4 'Prizren'; https://qgis.org). Todas las capas espaciales, símbolos y análisis fueron generados por los autores.

*Nota: Cada gráfico circular representa la concentración relativa de los cinco plaguicidas detectados en el suelo peridoméstico de un hogar determinado: clorpirifos (CPF), diazinón (DZN), pirimifos-metil (PMM), cipermetrina (CP) y lambda-cihalotrina (LCT). El tamaño de los gráficos circulares no indica la concentración absoluta, sino que ilustra la contribución proporcional de cada compuesto en la muestra. Los puntos más pequeños y aislados corresponden a hogares con concentraciones medidas muy bajas; a estos marcadores se les asignó un símbolo distintivo únicamente para diferenciarlos visualmente de los hogares con niveles de residuos más altos y no representan una categoría de exposición diferente. El pequeño mapa localizador contextualiza el área de estudio dentro de la Región del Maule e identifica las posiciones de

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Comunas de Cauquenes y San Javier. El mapa de calor muestra la magnitud de las correlaciones rho de Spearman entre la distancia de cada vivienda a fuentes agrícolas e industriales cercanas y los niveles de pesticidas detectados en el suelo. Los colores más cálidos indican correlaciones positivas más fuertes, lo que significa que las distancias más cortas a estas fuentes se asociaron con mayores residuos de pesticidas, mientras que los colores más fríos indican asociaciones más débiles o nulas.

La distribución es espacialmente heterogénea, con concentraciones más altas

y mezclas más variadas en áreas ubicadas más cerca de las identificadas

Fuentes ambientales (indicadas con triángulos rojos). Hogares cercanos

Las instalaciones agrícolas o industriales tienden a presentar problemas más complejos.

Perfiles de pesticidas. La superposición del mapa de calor, basada en los valores rho de Spearman,

Indica la fuerza y la dirección de las correlaciones entre el suelo

concentraciones de pesticidas y la distancia a estas fuentes.

La figura 2 presenta la distribución espacial de los residuos de plaguicidas detectados.

en muestras de agua de pozo de hogares rurales en las comunas de

ARTÍCULO EN PRENSA

Cauquenes y San Javier, Región del Maule. Cada gráfico circular corresponde

a un sitio de muestreo e ilustra la contribución relativa de los detectados

agroquímicos CPF, CP, DZN, PMM y LCT.

El mapa de calor representa los valores rho de Spearman, que indican la fuerza

de la correlación entre las concentraciones de plaguicidas y la contaminación residencial

proximidad a fuentes ambientales (marcadas con triángulos rojos). Más oscuro

Las áreas indican correlaciones positivas más fuertes ($\rho > 0,7$), mientras que las más ligeras

Las áreas denotan asociaciones débiles o nulas ($\rho \leq 0,2$).

La distribución espacial revela que los hogares situados más cerca de

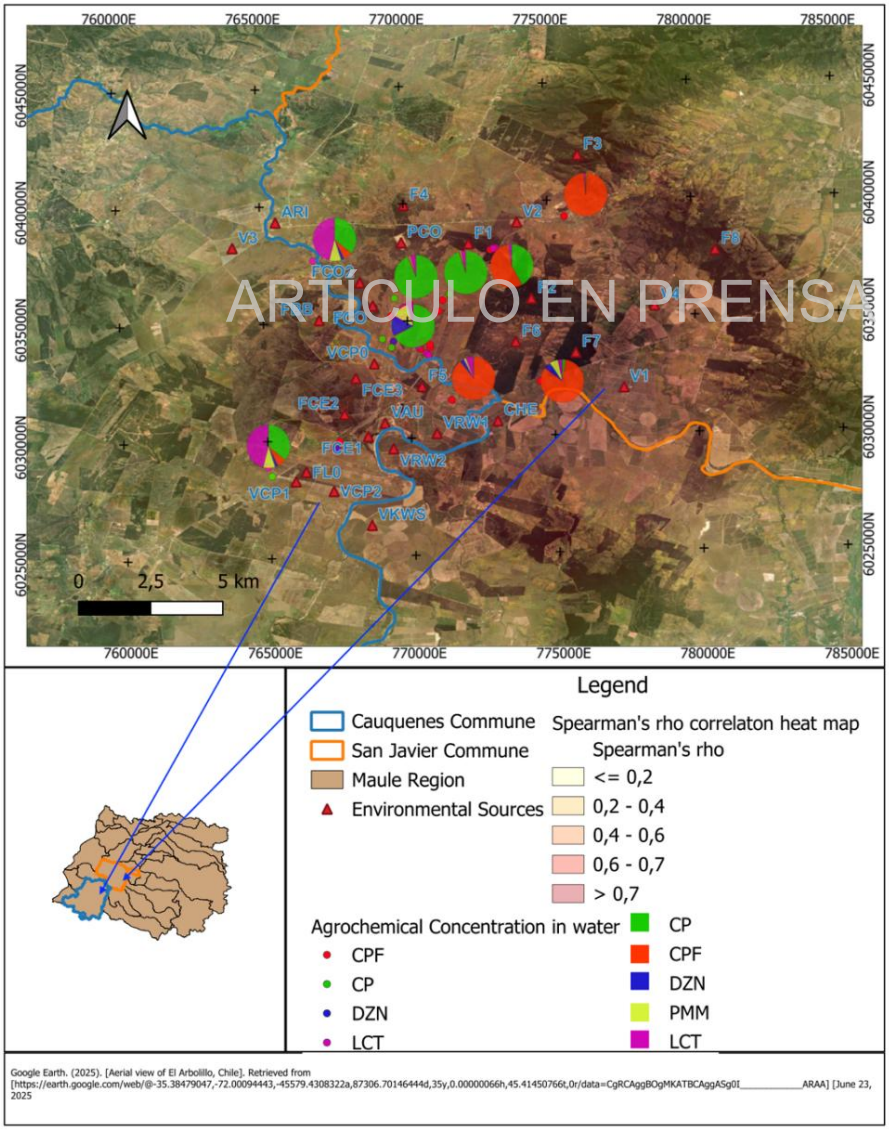
Las fuentes ambientales tienden a presentar concentraciones más altas de

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

clorpirifos y cipermetrina en muestras de agua. Por el contrario,
Los hogares ubicados más lejos de dichas fuentes generalmente muestran menores niveles de residuos, consistentes con la atenuación basada en la distancia insumos ambientales.

Figura 2. Distribución espacial de residuos agroquímicos en agua de pozo muestras y correlación con la proximidad a fuentes ambientales en Maule rural*



Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Fuente del mapa: imágenes satelitales de Google Earth (© Google; imágenes aéreas de El Arbolillo, Región del Maule, Chile; consultado el 23 de junio de 2025).
Creación y edición de mapas: Los autores crearon los mapas con QGIS (versión 3.34.4 «Prizren»; https://qgis.org). Todas las capas espaciales, símbolos y análisis fueron generados por los autores.

*Nota: El mapa muestra la concentración de clorpirifos (CPF), diazinón (DZN), pirimifos-metil (PMM), cipermetrina (CP) y lambda-cihalotrina (LCT) en muestras de agua de pozo recolectadas en hogares rurales de las comunas de Cauquenes y San Javier. Cada símbolo representa un hogar con datos disponibles de agua de pozo; los puntos más pequeños corresponden a viviendas con detecciones de niveles bajos y se muestran en un color distinto para diferenciarlos de los hogares con concentraciones más frecuentes o más altas. Los gráficos circulares ilustran la contribución proporcional de cada pesticida a la carga total de residuos detectada en cada pozo. El mapa de calor representa la magnitud de la correlación rho de Spearman entre la distancia de cada hogar a las instalaciones agrícolas, forestales o ganaderas cercanas y la concentración de pesticidas detectada en el agua de pozo. Los tonos más oscuros indican correlaciones más fuertes, lo que significa que los niveles de pesticidas tienden a aumentar a medida que los hogares se ubican más cerca de estas fuentes ambientales. Esta visualización respalda la interpretación de que la proximidad geográfica es un determinante importante de la exposición ambiental en estas comunidades rurales.

La Tabla 4 presenta los resultados de los modelos de regresión lineal múltiple robustos

Examinando las asociaciones entre la salud mental y la calidad de vida

Resultados y plaguicidas sociodemográficos y ambientales seleccionados

ARTÍCULO EN PRENSA

variables de coexposición.

Tabla 4. Estimaciones robustas de regresión lineal múltiple para asociaciones

entre las concentraciones ambientales de organofosforados y

pesticidas piretroides, características sociodemográficas y mentales

Resultados de salud y calidad de vida relacionada con la salud (n = 82)

Variable	R^2	β coeficiente	valor p	IC del 95% Más bajo	IC del 95% Superior
Síntomas de depresión (CES-D)	0,220				
- Sexo		-3.528	0.091	-7.481	0.425
- Cipermetrina (agua)		0.913	0.045	0,193	1.632
- Cipermetrina (suelo)		-3.661	0.015	-6.990	-0.332
- Pirimifos-metilo (suelo)		21.291	0.032	1.784	40.797
- Clorpirifos (agua)		0.180	0.044	0.016	0.345
- Pirimifos-metilo (agua)		-5.445	0.079	-12.359	1.470

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO

- Clorpirifos (suelo)		-0.587	0.084	-1.242	0.069
Depresión & Ansiedad (GHQ-12)	0,175				
- Sexo		-1.164	0.044	-2.295	-0.032
- Cipermetrina (agua)		0.324	0.002	0.124	0.525
Calidad de la salud física (SF-12 Físico)	0,286				
- Sexo		16.442	0.007	4.719	28.165
- Edad		-0.608	0.004	-1.013	-0,203
- Nivel educativo		13.098	0.035	0.944	25.252
- Índice de masa corporal (IMC)		-1.254	0.053	-2.527	0.018
- Clorpirifos (agua)		-0.467	0.015	-0.841	-0.092
Calidad de la salud mental (SF-12 Mental)	0,253				
- IMC		-0.935	0,186	-2.331	0.462
- Pirimifos-metilo (suelo)		21.142	0.036	1.396	40.888
- Lambda-cihalotrina (suelo)		-15.637	0.020	-28.707	-2.566
- Cipermetrina (agua)		-2.113	0.074	-4.433	0,207
- Clorpirifos (agua)		-0,713	0.016	-1.288	-0,137
- Pirimifos-metilo (agua)		27.399	0,201	-14.992	69.789
- Lambda-cihalotrina (agua)		-8.077	0,252	-22.040	5.885
Calidad general de Vida (SF-12 Total)	0.374				
- Edad		-0.597	0.005	-1.009	-0,185
- Sexo		14.962	0.014	3.136	26.787
- IMC		-1.252	0.056	-2.538	0.035
- Nivel educativo		12.349	0.051	-0.028	24.725
- Pirimifos-metilo (suelo)		15.402	0.099	-2.968	33.771
- Lambda-cihalotrina (suelo)		-15.129	0.017	-27.420	-2.837
- Clorpirifos (agua)		-0,728	<0.001	-1.112	-0.344
Afecto positivo (PANAS +)	0,227				
- Edad		0,137	0.007	0.039	0,234
- Ingreso per cápita		-1.36	0.012	-4.67	-2.25
- Clorpirifos (suelo)		-0.114	0.036	-0,221	-0.008
- Tiempo en la zona		-0.073	0.039	-0.141	-0.004
Afecto negativo (PANAS -)	0,192				
- Consumo de alcohol		0,228	0.414	-0.325	0,781
- Diazinón (suelo)		-1.025	0.144	-2.411	0.360
- Diazinón (agua)		-1.036	0,214	-2.684	0.612
- Clorpirifos (suelo)		-0.059	0.337	-0,181	0.063
- Tiempo en la zona		-0.046	0,207	-0,118	0.026

ARTÍCULO EN PRENSA

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Los síntomas depresivos (CES-D) se asociaron significativamente con concentraciones de pirimifos-metilo en el suelo y con cipermetrina y concentraciones de clorpirifos en el agua, mientras que una asociación inversa fue

Se observaron concentraciones de cipermetrina en el suelo. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Se observaron asociaciones significativas para la exposición restante variables. El distrés psicológico (GHQ-12) fue mayor entre las mujeres y aumentó con concentraciones más altas de cipermetrina en el agua.
La calidad de vida relacionada con la salud física (SF-12 Physical) fue más alta entre los hombres y los participantes con mayor nivel educativo, y menores con el aumento de la edad y mayores concentraciones de clorpirifos en agua. La calidad de vida relacionada con la salud mental (SF-12 Mental) fue asociado positivamente con pirimifos-metilo en el suelo e inversamente asociado con lambda-cihalotrina en el suelo y clorpirifos en el agua.
ARTÍCULO EN PRENSA
La calidad de vida general (SF-12 Total) disminuyó con la edad y con lambda-cihalotrina en el suelo y clorpirifos en el agua, y fue mayor entre los hombres. El afecto positivo (PANAS +) aumentó con la edad y

Disminuyó con menores ingresos, mayor tiempo de residencia y mayor contaminación del suelo.

Concentraciones de clorpirifos. No se encontraron asociaciones estadísticamente significativas.

Se observaron efectos negativos (PANAS -).

Discusión

Este estudio examinó las asociaciones entre los pesticidas ambientales Exposición y síntomas psicológicos entre poblaciones rurales no

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

dedicadas a labores agrícolas en la Región del Maule de Chile. En contraste
a investigaciones nacionales anteriores que se han centrado principalmente en
exposición ocupacional en entornos agrícolas23,24, los hallazgos actuales
Se refieren a residentes que viven cerca de explotaciones agroindustriales, forestales o ganaderas.
actividades, donde las vías de exposición ambiental también pueden ser
presente.

Los análisis ambientales identificaron múltiples compuestos pesticidas en el suelo
y agua potable, con clorpirifos, cipermetrina, diazinón y
El pirimifos-metilo se detecta con mayor frecuencia. Concentraciones más altas de
El clorpirifos y la cipermetrina se asociaron significativamente con
aumento de los niveles de síntomas depresivos, ansiedad y trastornos psicológicos
angustia, así como con puntuaciones más bajas en la calidad de vida relacionada con la salud mental.
ARTICULO EN PRENSA
vida. Estas observaciones son consistentes con estudios previos realizados
principalmente en poblaciones expuestas ocupacionalmente, que han informado
asociaciones entre la exposición a organofosforados y piretroides
y resultados neuroconductuales o afectivos2,10,26 .

Los modelos de regresión explicaron entre el 17% y el 37% de la varianza
en salud mental y resultados de calidad de vida. Estos valores son
comparables a los reportados en estudios realizados en pequeñas zonas rurales
poblaciones, donde los resultados psicológicos están determinados por múltiples factores
factores ambientales, sociales e individuales. En este contexto, los plaguicidas
Los residuos deben interpretarse como un componente dentro de un conjunto más amplio

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO ACEPTADO

de determinantes en lugar de como un contribuyente aislado a la salud mental
variabilidad 2.

Concentraciones ambientales y contexto regulatorio

Las concentraciones de pesticidas medidas en el agua potable superaron
Valores de referencia internacionales para varios compuestos27. Clorpirifos
Se detectó en el 39,47% de las muestras, con concentraciones máximas de
61,57 µg/L, por encima del valor de referencia propuesto por la Organización Mundial de la Salud.
Organización y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para
agua potable (30 µg/L)27. Se detectó diazinón en el 22,37% de
muestras, con concentraciones de hasta 4,58 µg/L, que es superior a
valores de referencia internacionales comúnmente citados (0,1 µg/L)27. Estos
Las concentraciones son consistentes con el uso agrícola intensivo y la
ARTÍCULO EN PRENSA
Persistencia ambiental de estos compuestos reportada en la agricultura.
contextos que pueden facilitar la exposición a través del agua contaminada
y fuentes de alimentos[1] , [2] .

Desde una perspectiva regulatoria, la norma chilena de agua potable
La norma NCh409/1 no define límites específicos para cada compuesto de clorpirifos o
diazinón, aunque exige el control de sustancias químicas que puedan
plantean riesgos para la salud29. Además, no existen umbrales regulatorios
establecidas para las aguas subterráneas utilizadas para el consumo doméstico o
riego en zonas sin acceso a sistemas centralizados de abastecimiento de agua.
La presencia concurrente de cipermetrina (21,95%, hasta 8,62 µg/L),

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

pirimifos-metilo (14,63 %, hasta 1,25 µg/L) y lambda-cihalotrina
(9,76 %, hasta 4,05 µg/L) indica contaminación mixta por
Compuestos organofosforados y piretroides. Para la lambda-cihalotrina,
El transporte a través de la escorrentía superficial sigue siendo una explicación plausible para su presencia en el agua a pesar de la fuerte adsorción en el suelo30, 31. Intensificación
Aplicación de pesticidas para el control de moscas asociadas con la cría de cerdos.
Las actividades pueden contribuir a la carga ambiental acumulativa en el
área, particularmente en comunidades rurales que dependen del agua de pozo o
fuentes de riego.

Distribución específica de la matriz y consideraciones fisicoquímicas

La distribución de residuos de plaguicidas a través de matrices ambientales
era consistente con las propiedades fisicoquímicas conocidas del material detectado
ARTÍCULO EN PRENSA
compuestos. Los organofosforados como el clorpirifos y el diazinón tienen
solubilidad moderada y menor sorción del suelo que los piretroides, que pueden
contribuyen a su detección más frecuente en agua de pozo. Por el contrario,
La cipermetrina y la lambda-cihalotrina se caracterizan por su alta
hidrofobicidad y fuerte adsorción a la materia orgánica del suelo, y fueron
Se detecta con mayor frecuencia en muestras de suelo. Medios similares específicos
Se han descrito patrones en estudios de monitoreo ambiental
realizadas en regiones agrícolas32.

Asociaciones con síntomas depresivos y resultados psicológicos

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

La sintomatología depresiva varió según la clase de pesticida y
Matriz ambiental. Se observaron relaciones positivas para determinados
organofosforados, incluido el pirimifos-metilo en el suelo y el clorpirifos
en agua, mientras que los patrones de cipermetrina diferían según la matriz, con
Estimaciones positivas en agua y estimaciones inversas en suelo. Diferencias
La variación en la distribución de residuos puede estar relacionada con las matrices.
frecuencia de detección o contextos de exposición en lugar de consistentes
direccionalidad entre compuestos33, 34. La detección concurrente de
Residuos de organofosforados y piretroides en muestras ambientales
indica la presencia de exposiciones ambientales mixtas, lo que debería
Se deben tener en cuenta algunos factores al interpretar estos hallazgos35,36.

Estudios previos han reportado asociaciones entre enfermedades crónicas o
ARTÍCULO EN PRENSA
La exposición repetida a organofosforados y los efectos depresivos o
síntomas neuroconductuales, particularmente en la agricultura
poblaciones2,37,38. El clorpirifos ha sido uno de los más frecuentemente
estudiaron los organofosforados en relación con los indicadores de salud mental, en gran medida
debido a su uso generalizado y persistencia en matrices ambientales.
Las asociaciones reportadas en estudios previos se han descrito en ambos
contextos ocupacionales y residenciales 16,18.

Proximidad residencial y vías de exposición no ocupacionales

Las concentraciones de pesticidas en el suelo y el agua fueron mayores en los hogares
ubicadas más cerca de fuentes agrícolas o industriales. Esta observación es

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

consistente con las vías de exposición no ocupacionales establecidas, incluida la deriva de pesticidas, la infiltración de aguas subterráneas y el contacto con superficies contaminadas. Investigaciones previas en la misma región informaron concentraciones más altas de metabolitos organofosforados en la orina entre Poblaciones que residen cerca de áreas cultivadas, apoyando la actividad residencial. La proximidad como determinante de la exposición ambiental [23, 39].

Consideraciones metodológicas y fortalezas analíticas

El uso de la regresión de Huber-IRLS redujo la influencia de los extremos valores, que son comunes en los datos de concentración ambiental con distribuciones sesgadas[40]. Modelar los resultados psicológicos como continuos Las variables permitieron evaluar la variación a lo largo del tiempo. distribución, evitando la pérdida de información asociada a la dicotomización o puntos de corte arbitrarios[41]. Además, los instrumentos psicológicos aplicados Han sido previamente validados en Chile, respaldando su validez psicométrica. Adecuación en esta población.

ARTÍCULO EN PRENSA

Relevancia política e implicaciones regionales

A medida que evolucionan los marcos regulatorios, se deben tomar medidas para reducir la carga residencial. La exposición a residuos de pesticidas puede considerarse en entornos rurales. Estos pueden incluir mejoras en el saneamiento de los pozos y en la infraestructura para limitar la escorrentía superficial y el uso de sistemas de filtración de agua capaces de reduciendo las concentraciones de plaguicidas. Paralelamente, fortalecer

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Vigilancia de la salud ambiental durante períodos de alto nivel de pesticidas
La aplicación podría apoyar el monitoreo de la exposición en las comunidades afectadas.
Los registros históricos de un caso judicial de 2019 indican que el cerdo
La operación agrícola en el área de estudio utilizó pesticidas como diazinón,
cipermetrina y pirimifos-metil para el control de vectores25, lo que indica
Presencia ambiental de larga data de estos compuestos en la zona.

En la literatura latinoamericana y del Caribe, la evidencia sobre plaguicidas
Exposición entre las comunidades cercanas a la producción porcina a gran escala
Las operaciones son limitadas, en particular en lo que respecta a los aumentos recurrentes de moscas.
poblaciones y las prácticas de control de vectores asociadas. Pocos estudios han...
Examinaron escenarios de exposición combinados derivados de múltiples factores agropecuarios.
actividades industriales que aplican diferentes clases de plaguicidas dentro del
ARTÍCULO EN PRENSA
mismo territorio. Los presentes hallazgos documentan el uso de plaguicidas ambientales.
residuos en una comunidad rural agroecológica donde los residentes no son
dedicadas a labores agrícolas, pero que están expuestas al medio ambiente debido a
la proximidad de actividades agrícolas y ganaderas intensivas13,24-26,42.

Se detectó clorpirifos repetidamente en muestras ambientales.
Las restricciones internacionales sobre su uso se han ampliado en respuesta a
evidencia de neurotoxicidad; sin embargo, este compuesto sigue autorizado
en Chile25. Varias agencias internacionales de salud han recomendado la
Retirada progresiva de plaguicidas altamente peligrosos como medida preventiva
medida. Experiencia internacional con la implementación de
Las medidas regulatorias sugieren que la exposición de la población a sustancias altamente

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Los pesticidas peligrosos se pueden reducir sin comprometer la agricultura.
producción, proporcionando un contexto de política relevante para interpretar estos
hallazgos43.

Matrices ambientales e implicaciones para la exposición futura
evaluación

El uso de matrices ambientales permite la caracterización espacial
patrones y perfiles específicos de compuestos de contaminación por plaguicidas en
a nivel comunitario. Aunque los datos de biomarcadores individuales no fueron
En este estudio se recogen investigaciones previas realizadas en la misma región.
Ha informado de la correspondencia entre los plaguicidas ambientales
concentraciones y biomarcadores urinarios. En este contexto, el suelo y el agua
Las mediciones pueden informar el diseño de estudios futuros que incorporen
ARTÍCULO EN PRENSA
Biomonitoreo a nivel individual, incluida la priorización de objetivos
compuestos y la definición de ventanas de exposición.

Limitaciones

Al interpretar estos datos se deben tener en cuenta varias limitaciones:
Hallazgos. En primer lugar, el diseño transversal no permite sacar conclusiones.
sobre la direccionalidad, como la secuencia temporal entre el entorno
La exposición y la aparición de síntomas de salud mental no pueden ser
establecido; por consiguiente, no se puede excluir la causalidad inversa.
En segundo lugar, la ausencia de biomonitoreo a nivel individual limita la
Evaluación de la dosis interna y la variabilidad interindividual en la absorción

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

y metabolismo. En tercer lugar, el alcance geográfico del estudio.
restringe el grado en que los resultados pueden extrapolarse a otros
Contextos rurales con diferentes condiciones ambientales y agrícolas.
características. Además, la ingesta dietética, una vía relevante para
No se evaluó la exposición crónica a plaguicidas en poblaciones rurales.
Aunque se recopiló información sobre el uso de insecticidas en el hogar, estas exposiciones
no se tuvieron en cuenta en su totalidad en los modelos estadísticos, potencialmente
lo que conduce a un control incompleto de los factores de confusión.

Variables contextuales como el riesgo ambiental percibido, el riesgo social
No se evaluaron las redes de apoyo ni el acceso a los servicios de salud,
A pesar de su potencial para modificar las asociaciones entre factores ambientales
exposición y resultados de salud mental. Dentro de estas limitaciones, la
ARTICULO EN PRENSA
Las asociaciones observadas son consistentes con estudios epidemiológicos previos.
estudios y alinearse con los datos de vigilancia regional que documentan la incidencia aguda
intoxicaciones por pesticidas en el área de estudio.

Otra consideración metodológica se relaciona con el tratamiento de los valores
por debajo del límite analítico de detección. Para compuestos con baja
frecuencias de detección, como pirimifos-metilo en el suelo y lambda-
cihalotrina en agua, una proporción de observaciones se imputaron utilizando
LOD/√2. Este procedimiento reduce el sesgo en comparación con la asignación de cero o
excluyendo los no detectados, pero aumenta la incertidumbre y disminuye la
variabilidad efectiva de dichas medidas de exposición. En consecuencia,
El poder estadístico se reduce y las estimaciones del efecto de estos compuestos

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO

pueden atenuarse hacia el valor nulo; hallazgos que involucran pesticidas con
Por lo tanto, las frecuencias de detección bajas deben interpretarse como
exploratorio.

Futuras direcciones de investigación

Las investigaciones futuras se beneficiarían de diseños longitudinales para evaluar
Trayectorias de salud mental en relación con el entorno acumulativo
exposición a pesticidas. La incorporación de biomarcadores, como la orina
fosfatos de dialquilo, junto con una mejor exposición geoespacial
El modelado fortalecería la caracterización de la exposición. Estudios adicionales
También se deben considerar factores contextuales, incluido el estrés psicosocial,
la percepción del riesgo y el acceso a la atención sanitaria, que pueden influir en la
Relación entre la exposición ambiental y la salud mental
ARTÍCULO EN PRENSA
resultados.

Recomendaciones

Mejorar la vigilancia de la salud ambiental en zonas rurales con recursos limitados
La conectividad apoyaría la identificación de residuos de plaguicidas en
Matrices ambientales. Seguimiento periódico comunitario del suelo y
El agua potable puede ayudar a detectar la contaminación, especialmente en
hogares que dependen de pozos privados. Participación comunitaria en
Los procesos de muestreo y presentación de informes pueden contribuir a la transparencia y
Apoyar la participación local en la toma de decisiones ambientales.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Las medidas para proteger las fuentes de agua doméstica también pueden reducir el riesgo de contaminación.
exposición. Acciones como el mantenimiento rutinario de los pozos, la instalación de
estructuras de protección y el uso de sistemas de filtración de agua asequibles
Podría limitar la contaminación mientras se actualizan los marcos regulatorios.
Paralelamente, las autoridades municipales y regionales podrán reforzar la supervisión de
operaciones agrícolas y ganaderas para asegurar el cumplimiento de las normas vigentes
normas ambientales, incluida la gestión de residuos y el control de vectores
prácticas y procedimientos de aplicación de pesticidas 5.

Promoción de prácticas más seguras de control de plagas domésticas y educación específica
sobre cuestiones de salud ambiental puede ayudar a reducir la exposición acumulativa.
Fortalecimiento de la coordinación entre comunidades y atención primaria de salud
Los servicios y las agencias ambientales podrían mejorar la comunicación
ARTICULO EN PRENSA
y facilitar el acceso a orientación técnica y respuestas oportunas36.

Dadas las asociaciones observadas entre los plaguicidas ambientales
residuos e indicadores de salud mental, incorporando factores ambientales
Las consideraciones sobre la exposición en los programas de salud mental rurales pueden ayudar
Identificar los hogares que podrían beneficiarse de apoyo adicional.
Esfuerzos coordinados entre instituciones públicas, comunidades locales y
Los actores agroindustriales podrían apoyar estrategias de reducción de riesgos en
estos contextos rurales 2.

Métodos

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Este estudio observacional transversal se realizó en zonas rurales de
las comunas de San Javier y Cauquenes en la Región del Maule de Chile.
Las áreas seleccionadas se caracterizan por la proximidad a múltiples fuentes
de exposición a pesticidas ambientales, incluida una granja de cerdos a gran escala
instalaciones agrícolas, viñedos, tierras de cultivo y operaciones forestales. Estas
Los sitios tienen historias documentadas de uso intensivo de agroquímicos y tienen
se han asociado con conflictos socioambientales persistentes25.
La población objetivo comprendía residentes adultos (≥18 años) que vivían cerca
la zona conocida como “El Arbolillo”, donde se encuentra el San Agustín del Arbolillo
La instalación de producción de cerdos, autorizada en 2008 para 10.000 cerdas, es un punto focal
punto de controversia ambiental25. Hogares ubicados dentro de un radio de 10
Se consideraron elegibles los radios kilométricos del complejo industrial.
Los participantes fueron seleccionados al azar de registros proporcionados por las autoridades locales.
organizaciones comunitarias. Residencia continua en el área de estudio por al menos
Se requirió al menos 12 meses para su inclusión.
Se definieron criterios de exclusión para reducir posibles factores de confusión.
Personas con diagnóstico previo de trastornos neurológicos o con
patrones nocivos de consumo de alcohol, definidos como una ingesta diaria
que excedieran de 40 gramos para las mujeres o 60 gramos para los hombres44, no eran elegibles
Para participar.
La estimación del tamaño de la muestra se basó en un estudio previo realizado en el
Región de Coquimbo que reportó diferencias estadísticamente significativas en
Resultados de salud mental entre individuos expuestos ambientalmente

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

y no expuestos a pesticidas13. Ese estudio observó niveles medios más bajos del bienestar psicológico entre los participantes expuestos, proporcionando una base empírica para estimar una diferencia esperada entre grupos.

En base a estos parámetros se obtuvo una muestra mínima de 60 participantes (30 por grupo de exposición) fue necesario para detectar diferencias en la salud mental Resultados con un poder estadístico del 80% y un nivel de significancia bilateral del 5%. Para abordar posibles faltas de respuesta, datos faltantes o exclusiones. Durante el trabajo de campo se aplicó un margen de sobremuestreo del 25%. Por consiguiente, el tamaño de muestra objetivo se estableció en 80 participantes.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética Científica de la Universidad Católica del Maule, Chile (Acta de Aprobación N°112/2022; modificación de la Ley N°165/2023). Todos los métodos se llevaron a cabo en de conformidad con las directrices y reglamentaciones pertinentes, incluidas las Declaración de Helsinki, las Directrices éticas internacionales para la salud-Investigación relacionada con seres humanos (CIOMS) y la Ley chilena 20.120, que regula la investigación científica en seres humanos. Escrito

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes después de una evaluación detallada. explicación del estudio y con garantía de completa confidencialidad. Todos los participantes eran adultos, no miembros de grupos vulnerables. o poblaciones cautivas, y la participación fue completamente voluntaria. No Se aplicó coerción y los participantes dieron su consentimiento libremente. y con una comprensión completa del estudio.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Entre diciembre de 2023 y enero de 2024, se tomaron muestras ambientales de
El agua sana y el suelo peridoméstico se recogieron por primera vez de
hogares de los participantes. Posteriormente, se estandarizó la evaluación psicosocial.
Se administraron instrumentos individualmente para evaluar la salud mental.
Resultados. La recopilación de datos se llevó a cabo tanto en un lugar designado
instalaciones comunitarias y en los hogares de los participantes. El equipo de campo estuvo compuesto por
profesionales capacitados, incluidos psicólogos, médicos, bioquímicos,
biólogos y otros especialistas.

a) Evaluación de la exposición a plaguicidas

La exposición ambiental se evaluó mediante el análisis de
Residuos de plaguicidas en muestras de agua potable y suelo:

ARTÍCULO EN PRENSA

- Muestras de agua :El agua potable se recogió de los hogares.
  Pozos y puntos de abastecimiento rurales. Todas las muestras se conservaron a 4 °C.
  (±2 °C) durante el transporte y el almacenamiento para garantizar la estabilidad del analito.
  La extracción siguió un protocolo basado en QuEChERS adaptado para
  matrices de agua, que implican partición de acetonitrilo y dispersión
  Extracción en fase sólida. Detección analítica de clorpirifos.
  La prueba de diazinón, cipermetrina y permetrina se realizó utilizando gas.
  cromatografía acoplada a espectrometría de masas en tándem (GC-
  MS/MS). Todos los análisis de agua se realizaron en el Bioproceso
  Laboratorio de la Universidad Católica del Maule45.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

- Muestras de suelo: Se recogió suelo superficial (0–10 cm) de áreas peridomésticas cerca de sitios agrícolas e industriales, Incluyendo viñedos, plantaciones forestales y granjas porcinas. Muestras Se tamizaron, se secaron al aire y se almacenaron a 4 °C (±2 °C) antes del análisis. Se utilizó un método QuEChERS modificado y adaptado para matrices de suelo. Para la extracción se utiliza acetonitrilo con sales tampón, Seguido de una limpieza con absorbentes PSA y C18 para minimizar Efectos de la matriz. Cuantificación de clorpirifos, diazinón y La determinación de lambda-cihalotrina se realizó mediante GC-MS/MS en el Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Católica del Maule46,47.
- Georreferenciación: Coordenadas geográficas de cada participante residencia y fuentes de exposición potenciales cercanas (por ejemplo, granjas de cerdos, viñedos, plantaciones forestales) se registraron directamente en el campo. La distancia lineal más corta (en metros) entre Se calculó cada residencia y la fuente de exposición más cercana Utilizando Google Earth. Para la visualización espacial y la generación de mapas, Se utilizó el software QGIS para construir capas georreferenciadas y ilustran patrones de proximidad entre hogares e identificados fuentes de contaminación ambiental. Estos valores de distancia se incorporaron como variables continuas en la exposición evaluación.

ARTÍCULO EN PRENSA

b) Evaluación de resultados de salud mental

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO ACEPTADO

Los resultados de salud mental se evaluaron utilizando una batería de autoevaluaciones validadas. instrumentos de informe diseñados para evaluar síntomas depresivos, ansiedad, Estados emocionales, malestar psicológico y calidad de vida percibida:

- Escala CES-D: El Centro de Estudios Epidemiológicos sobre la depresión La escala es un instrumento de 20 ítems que mide la frecuencia de síntomas depresivos durante la última semana. Los ítems se califican en un Escala Likert de 4 puntos (0 a 3), que arroja una puntuación total de 0 a 60. Las puntuaciones más altas indican una mayor gravedad de los síntomas. La escala fue analizado como variable continua. La versión chilena tiene demostró una alta consistencia interna (α de Cronbach > 0,85)48.
- Escala de afectos positivos y negativos (PANAS): Compuesto por dos subescalas de 10 ítems cada una, el PANAS evalúa la intensidad de Afecto positivo (PA) y negativo (NA). Los ítems se puntúan en una escala de 5 Escala de Likert de puntos (1 a 5), con puntuaciones de subescala que van desde 10 hasta 50. Las puntuaciones más altas muestran estados afectivos más fuertes. El chileno La validación confirmó la estructura de dos factores con adecuada consistencia interna (α de Cronbach = 0,91 para PA, 0,87 para NA)49.
- Cuestionario general de salud – 12 ítems (GHQ-12): El de 12 elementos El Cuestionario de Salud General (GHQ-12) es un cuestionario autoadministrado escala que evalúa la angustia psicológica, incluyendo síntomas de ansiedad, depresión y disfunción social. Utiliza un sistema de 4 puntos. Escala Likert (de 0 a 3), con puntuaciones totales que van de 0 a 36, donde Las puntuaciones más altas indican mayor angustia. En este estudio, el GHQ-12

ARTÍCULO EN PRENSA

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Las puntuaciones se analizaron como variables continuas para preservar
Sensibilidad estadística. Según la validación chilena (α =
0,902), el instrumento mostró una alta consistencia interna y una
Estructura de dos factores, disfunción social y psicológica.
angustia, que explicó casi el 60% de la varianza total50.

- Encuesta de salud de formato corto (SF-12 v2): Este cuestionario de 12 preguntas
evalúa la salud autoinformada en ocho dominios y genera
puntuaciones estandarizadas de los componentes físico (PCS) y mental (MCS)
que van de 0 a 100, donde los valores más bajos indican una peor salud.
Para este estudio, el instrumento se analizó como un instrumento continuo.
variable. La versión chilena ha mostrado una buena confiabilidad (α =
0.899)51.

ARTÍCULO EN PRENSA

do) Covariables

Se aplicaron instrumentos adicionales para caracterizar a los participantes.
perfiles sociodemográficos, ocupacionales y conductuales, y ajustar
para posibles factores de confusión en el análisis:

- Cuestionario sobre historial general de salud y exposición: Una estructura
Cuestionario de 26 ítems, adaptado de uno previamente validado
El instrumento 52 se utilizó para recopilar información sobre
características sociodemográficas (edad, sexo, educación, estado civil)
estatus migratorio, ingreso familiar per cápita y años de residencia en el
área), historial ocupacional, estado de discapacidad y estado médico

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

condiciones potencialmente vinculadas a la exposición a pesticidas, incluyendo antecedentes episodios de intoxicación aguda. También incluía artículos sobre Exposición ocupacional y doméstica a plaguicidas. Antropométrico Las mediciones se realizaron utilizando una báscula digital y un estadiómetro, con peso registrado en kilogramos y altura en centímetros.

- Prueba de detección de consumo de alcohol, tabaquismo y sustancias (ASISTENCIA 3.0): Este instrumento de evaluación de 8 ítems evalúa el nivel de riesgo asociado al consumo de diez sustancias psicoactivas, incluidos el tabaco, el alcohol, el cannabis, la cocaína, los sedantes y otros. Evalúa tanto el uso reciente como el de por vida, los efectos adversos Consecuencias, signos de dependencia y administración intravenosa. administración. Los niveles de riesgo se clasifican como bajo, moderado o alta. La validación chilena demostró un alto nivel interno consistencia (α de Cronbach = 0,91)53. En este estudio, el ASSIST se utilizó como covariable para controlar los factores de comportamiento que pueden Confundir las asociaciones entre la exposición a pesticidas y el estado mental resultados de salud.

ARTÍCULO EN PRENSA

Todos los instrumentos de salud mental y física fueron administrados por Profesionales de la salud capacitados con experiencia previa en la comunidad. evaluaciones. Estos profesionales fueron capacitados específicamente en el administración estandarizada de cada cuestionario, asegurando la consistencia recopilación de datos y mejora de la fiabilidad y comparabilidad de respuestas entre los participantes.

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO
ARTÍCULO EN PRENSA

Evaluación de la exposición a plaguicidas

La exposición ambiental a pesticidas se caracterizó midiendo
concentraciones de compuestos organofosforados y piretroides seleccionados
en suelo peridoméstico y agua potable recolectada en las casas de los participantes
hogares. Análisis de residuos dirigidos a clorpirifos, diazinón,
pirimifos-metilo, cipermetrina y lambda-cihalotrina, utilizando gas
cromatografía acoplada a espectrometría de masas en tándem (GC–MS/MS).
La calidad analítica se aseguró mediante procedimientos de validación estándar,
Incluyendo evaluación de recuperación, precisión, linealidad y detección
límites, con corrección por efectos de matriz cuando sea necesario. Un detallado
Se describe los procedimientos de extracción y validación analítica.
previsto en los métodos complementarios45-47.

ARTÍCULO EN PRENSA

Plan de análisis

Los datos se ingresaron en una matriz de Microsoft Excel mediante una entrada doble.
procedimiento para minimizar errores de transcripción. Se realizó un análisis exploratorio.
Se llevó a cabo para identificar datos faltantes, valores atípicos, entradas duplicadas y para
Examinar la distribución de todas las variables continuas.

Las concentraciones de pesticidas en el suelo (µg/kg) y el agua (µg/L) fueron
procesados utilizando un método de sustitución para mediciones por debajo del
Límite de detección analítico (LOD). Se reemplazaron los valores no detectados.
utilizando el LOD dividido por la raíz cuadrada de dos (LOD/√2)54, un
enfoque comúnmente utilizado para manejar mediciones por debajo del nivel de detección

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

limitar y minimizar el sesgo en las estimaciones de cuantificación ambiental (Tabla S1).

Dadas las frecuencias de detección heterogéneas entre los pesticidas, la La proporción de valores por debajo del LOD se examinó antes del modelado. Para compuestos con tasas de detección muy bajas (por ejemplo, pirimifos-metilo en suelo, detectado en sólo el 7% de las muestras), la alta fracción de imputado Los valores aumentan la incertidumbre y reducen la variabilidad efectiva, lo que limita poder estadístico. Por lo tanto, las asociaciones que involucran baja detección Los pesticidas se interpretaron con cautela y se consideraron exploratorios.

Las variables categóricas se describieron utilizando valores absolutos y relativos. frecuencias. Las variables continuas se resumieron utilizando medias, medianas, desviaciones estándar y rangos intercuartiles. Bivariado Las comparaciones se realizaron con la prueba U de Mann-Whitney y Se evaluaron correlaciones entre variables continuas u ordinales utilizando el coeficiente de correlación de rangos de Spearman.

ARTÍCULO EN PRENSA

Para examinar las asociaciones entre las concentraciones de pesticidas y el estado mental resultados de salud y proximidad residencial a fuentes de exposición, seis Se ajustaron modelos robustos de regresión lineal múltiple para cada uno Resultado continuo de salud mental: CES-D, GHQ-12, SF-12 Físico Puntuación del componente, SF-12 Puntuación del componente mental, PANAS Positivo Afecto y Afecto Negativo PANAS.

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Las covariables se seleccionaron en función de la evidencia previa y la teoría.
relevancia, incluyendo edad, sexo, educación, estado civil, per cápita
Ingresos, años de residencia, pesticidas ocupacionales y domésticos.
exposición, peso corporal, altura y riesgo de consumo de sustancias.

Debido a que los análisis exploratorios indicaron la presencia de valores atípicos y
heterocedasticidad, los modelos se estimaron utilizando el estimador M de Huber
con mínimos cuadrados reponderados iterativamente. La comparación de modelos fue
realizado utilizando R^2 ajustado, inspección de distribuciones residuales y
Evaluación de la multicolinealidad. Solo los modelos que demuestran la mejor
La bondad de ajuste y el rendimiento diagnóstico aceptable se mantuvieron como
modelos finales.

Los análisis de sensibilidad incluyeron la exclusión de valores extremos y la comparación
Resultados con estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios para evaluar la robustez
de los hallazgos. Todos los análisis se realizaron utilizando Jamovi (v2.6) y
Stata (v19.0).

ARTÍCULO EN PRENSA

Referencias

1. Barbosa Junior, M., Ramos Huarachi, DA & de Francisco, AC
El vínculo entre la exposición a pesticidas y el suicidio en trabajadores agrícolas: una revisión sistemática. Salud rural remota 24, 8190 (2024). https://doi.org/10.22605/RRH8190.

2. Cancino, J., Soto, K., Tapia, J., Muñoz-Quezada, MT, Lucero, B., Contreras, C., & Moreno, J. Exposición ocupacional a pesticidas y síntomas de depresión en trabajadores agrícolas: una revisión sistemática. Res. Ambiental 231, 116190 (2023). https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116190.

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

3. Rother, H.-A. Suicidios por pesticidas: ¿qué más evidencia se necesita para...
¿Prohibir los plaguicidas altamente peligrosos? 9, e331–
e332 (2021). https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00019-X. Lancet Global Health

4. Organización Mundial de la Salud. . Suicidio en todo el mundo en 2019: global
estimaciones de salud (2021).
https://www.who.int/publications/i/item/9789240026643.

5. Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
de las Naciones Unidas. Prevención del suicidio: recurso Para los pesticidas, un
registradores y reguladores . (2019).
https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/326947/9789241516389-esp.pdf

6. Coronado, GD et al. Exposición a pesticidas organofosforados y proximidad residencial a
campos cercanos: evidencia de la vía de deriva. 53, (2011). https://journals.lww.com/joem/fulltext/2011/03000/organophosphate_pesticide_exposure_a_pesticidas_y_residencial.10.aspx. Ocupación Medioambiental

7. Deziel, NC, Friesen, MC, Hoppin, JA, Hines, CJ, Kent, T. y Freeman, LEB Una revisión de las
vías no ocupacionales de exposición a pesticidas en mujeres que viven en zonas
agrícolas. 123, 515–524 (2015). https://doi.org/10.1289/ehp.1408273. Reinar.
Perspectiva de salud.

8. Guzman-Torres, H. et al. Frecuencia de pesticidas urinarios en niños: una revisión
exploratoria. 11, 1227337 (2023). https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1227337. Frente. Salud Pública

9. Lu, C., Fenske, RA, Simcox, Nueva Jersey y Kalman, D. Pesticida
Exposición de niños en una comunidad agrícola: evidencia de proximidad de los hogares
a tierras de cultivo y vías de exposición para llevar a casa. 84, 290–302 (2000).
https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4076. Res. Ambiental

10. Zúñiga-Venegas, L. et al. Efectos de la exposición a plaguicidas en la
salud de las poblaciones de América Latina y el Caribe: una revisión exploratoria. https://doi.org/10.1289/EHP9934. Perspectiva de salud ambiental. 130, 097002 (2022).

11. Ahmad, MF et al. Impactos de los pesticidas en la salud humana y
El medio ambiente con sus mecanismos de acción y posibles contramedidas. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128 Heliyón

de Tudi, M. et al. Vías de exposición y riesgos para la salud asociados con la aplicación
pesticidas. 12. 10, 335 (2022). https://doi.org/10.3390/toxics10060335. Tóxicos

13. Corral, SA et al. Deterioro cognitivo en trabajadores agrícolas y residentes de
zonas aledañas expuestos a plaguicidas en la Región de Coquimbo, Chile. 62, 13–
19 (2017). https://doi.org/10.1016/j.ntt.2017.09.005 Neurotoxicol. Teratol.

14. Frengidou, E., Galanis, P. y Malesios, C. Exposición a pesticidas o envenenamiento
por pesticidas y el riesgo de depresión en la agricultura.

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Poblaciones: una revisión sistemática y metaanálisis. J. Agromedicina 29, 1 (2024). https://doi.org/10.1080/1059924X.2023.2278801

15. Farkhondeh, T., Mehrpour, O., Forouzanfar, F., Roshanravan, B. y Samarghandian, S. Estrés oxidativo y disfunción mitocondrial en la neurotoxicidad inducida por pesticidas organofosforados y su mejora: una revisión. 27, 24736–24751 (2020). https://doi.org/10.1007/s11356- Medio ambiente. Ciencia. Contaminación. Res. 020-09045-z

dieciséis. Kori, RK, Singh, MK, Jain, AK y Yadav, RS Disfunciones neuroquímicas y conductuales en trabajadores agrícolas expuestos a pesticidas: un resultado clínico. 33, 382–389 (2018). https://doi.org/10.1007/s12291-018-0781-5 Indio. J. Clínica Bioquímica.

17. Tsai, Y.-H. y Lein, PJ Mecanismos de neurotoxicidad de organofosforados. 26, 49–60 (2021). https://doi.org/10.1016/j.coviro.2021.04.002. Opinión actual sobre toxicos.

18. Zanchi, MM, Marins, K. y Zamoner, A. ¿Podría la exposición a pesticidas estar implicada en las altas tasas de incidencia de depresión, ansiedad y suicidio en agricultores? Una revisión sistemática. 331, 121888 (2023). https://doi.org/10.1016/ Reinar. Contaminación. j.envpol.2023.121888.

19. Muñoz-Quezada, MT et al. Exposición a pesticidas en Chile y su relación con el potencial carcinogénico: una revisión. 13, 1531751 (2025). Frente. Salud pública https://doi.org/10.3389/ fpubh.2025.1531751.

20. Servicio Agrícola y Ganadero. Informe general sobre ventas de plaguicidas agrícolas en Chile. División de Protección Agrícola y Forestal. Sección de Seguridad Alimentaria. (2023). https://www.sag.gob.cl/content/reporte-general-de-las-declaraciones-de-ventas-de-plaguicidas-ano-2023 .

21. Subsecretaría de Salud Pública. Situación epidemiológica de las intoxicaciones agudas por plaguicidas en Chile – REVEP 2011–2023. Ministerio de Salud, Chile (2025). https://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2024/11/Informe_Epidemiologico_de_Intoxicaciones_agudas_por_plaguicidas_por_comunas_REVEP_2011_2023.pdf

22. Lucero, B. et al. Biomarcadores de exposición a pesticidas predicen síntomas depresivos en trabajadores rurales y urbanos de la Región del Maule, Chile. medRxiv 2025.01.30.25321387 (2025). https://doi.org/10.1101/2025.01.30.25321387.

23. Ramírez-Santana, M. et al. Biomonitoreo de las actividades de colinesterasas sanguíneas y acilpéptido hidrolasas en habitantes rurales expuestos a pesticidas en la Región de Coquimbo, Chile. 13, e0196084 (2018). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196084. PLoS ONE

24. Ramírez-Santana, M. et al. Asociación entre Inhibición de la colinesterasa y deterioro cognitivo: una base para

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Políticas de prevención de la contaminación ambiental por plaguicidas organofosforados y carbamatos en Chile. 186, 109539 (2020). https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109539. Reinar. Res.

Muñoz-Quezada, MT et al. Análisis bioético de los conflictos socioambientales de una industria porcina en una comunidad rural chilena. 16, 5457 (2024). https://doi.org/10.3390/su16135457. Sostenibilidad

26. Landeros, N. et al. Genotoxicidad y riesgo reproductivo en trabajadores expuestos a plaguicidas en zonas rurales de Curicó, Chile: un estudio piloto. 19, 16608 (2022). https://doi.org/10.3390/ijerph192416608. Int. J. Res. Ambiental Salud Pública

27. Ebrahimpour, K., Ebrahimi, A. y Baram, MM (2023). Investigación de residuos de diazinón, clorpirifos y diclorvos en fuentes de abastecimiento de agua potable urbana y determinación del índice de calidad del agua en Tiran-Karvan en 2020. Revista de Salud ambiental y desarrollo sostenible 8, 2149–2158.

28. Huang, X., Cui, H. y Duan, W. (2020). Ecotoxicidad del clorpirifos en organismos acuáticos: Una revisión. 200, 110731. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110731 Ecotoxicología y Seguridad ambiental

29. Ministerio de Obras Públicas, Superintendencia de Servicios Sanitarios & Echeverría, CE (2021). Estudio de la Norma NCh 409: Agua potable requisitos estándares internacionales símiles, cuantificación parámetros nuevos de y remoción en PTAP actividades modificados, Factibilidades y Ministerio de Obras Públicas, Chile. Disponible en: https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/handle/20.500.12140/32890

30. Yao, KS et al. (2024). Evaluación de las respuestas ecológicas a la exposición al insecticida piretroide lambda-cihalotrina en ecosistemas subtropicales de agua dulce. 952, 176022. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176022 Ciencia del Medio Ambiente Total

31. Liu, S. et al. (2024). Destinos y modelos de las vías de exposición de residuos de pesticidas piretroides: Una revisión. 277, 116342. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116342 Ecotoxicología y seguridad ambiental

32. Lewis KA, Tzilivakis J, Warner DJ y Green A. Una base de datos internacional para la evaluación y gestión de riesgos de plaguicidas 22, 1050–1064 (2016). https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242 Evaluación de riesgos ambientales

33. Bhatt, P., Huang, Y., Zhan, H. y Chen, S. Perspectivas sobre aplicaciones microbianas para la biodegradación de insecticidas piretroides. 10, 1778 (2019). https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01778. Frente. Microbiol

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ARTÍCULO EN PRENSA

Qin, S., Budd, R., Bondarenko, S., Liu, W. y Gan, J. 34.
Degradación enantioselectiva y estabilidad quiral de piretroides en suelo y sedimento. https://doi.org/10.1021/jf060329p J. Agricultura. Química alimentaria. 54, 5040–5045 (2006).

35. Eve, L., Fervers, B., Le Romancer, M. y Etienne-Selloum, N. Exposición a sustancias químicas disruptoras endocrinas y riesgo de cáncer de mama 21, 9139 (2020). cáncer. Int. J. Ciencias Moleculares. https://doi.org/10.3390/ijms21239139.

36. Savitz, D. y Hattersley, A. Evaluación de mezclas químicas en Estudios epidemiológicos para fundamentar decisiones regulatorias. 131, Reinar. Perspectiva de salud. 045001 (2023). https://doi.org/10.1289/EHP11899.

37. Beseler, C. et al. Depresión y exposición a pesticidas entre aplicadores privados de pesticidas inscritos en el estudio de salud agrícola. 116, 1713–1719 (2008). https://doi.org/10.1289/ehp.11681 Perspectiva de salud ambiental.

38. Freire, C. y Koifman, S. Pesticidas, depresión y suicidio: Una revisión sistemática de la evidencia epidemiológica. 216, 445–460 Int. J. Higiene. Salud ambiental (2013). https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.12.003.

39. Muñoz-Quezada, MT et al. Exposición longitudinal a piretroides (3-PBA y trans-DCCA) y herbicida 2,4-D en escolares rurales de la región del Maule, Chile. 141512 (2020). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141512. Ciencia Medio Ambiente Total. 749,

la Varin, S. & Panagiotakos, DB Una revisión de 40. regresión robusta en investigación en ciencias biomédicas. 16, 1267-1269 (2020). https://doi.org/10.5114/ Arquitecto. Ciencias Médicas. aoms.2019.86184.

41. Royston, P., Altman, DG y Sauerbrei, W. Dicotomización Predictores continuos en regresión múltiple: una mala idea. Estadística. Medicina. 25, 127–141 (2006). https://doi.org/10.1002/sim.2331.

42. Zúñiga-Venegas, L. & Pancetti, FC Daño al ADN en un Población chilena expuesta a plaguicidas y su asociación con el biomarcador de susceptibilidad PON1 (Q192R y L55M). 63, 215–226 (2022). https://doi.org/10.1002/ Medio ambiente. Mol. Mutageno. em.22485.

43. Steinmetz, J. et al. Carga mundial, regional y nacional de trastornos que afectan al sistema nervioso, 1990-2021: un análisis sistemático para el Estudio de la Carga Mundial de Enfermedades 2021. Lanceta Neurol. 23, 344–381 (2024). https://doi.org/10.1016/S1474-4422(24)00038-3.

44. Babor, T., Higgins-Biddle, J. y Saunders, M. AUDITORÍA: La Prueba de identificación de trastornos por consumo de alcohol: pautas para su uso en atención primaria en . Organización Mundial de la Salud (2001). https://www.paho.org/sites/default/files/Auditmanual_ENG.pdf.

45. Santana-Mayor, Á., Socas-Rodríguez, B., Herrera-Herrera, AV & Rodríguez-Delgado, M. Á. Tendencias actuales en el método QuEChERS: un procedimiento versátil para alimentos, medio ambiente y

ARTÍCULO EN PRENSA

Machine Translated by Google

MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Análisis biológico. 116, 214–235 (2019). Tendencias TrAC Anal. Quím. https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.04.018.

Đurović-Pejčev, RD, Bursić, VP y Zeremski, TM 46.
Comparación de QuEChERS con métodos tradicionales de preparación de muestras para la determinación de plaguicidas multiclase en el suelo. 102, 1 (2019). https://doi.org/ J.
AOAC Internacional. 10.5740/jaoacint.18-
0296.

47. Łozowicka, B., Rutkowska, E. y Jankowska, M. Influencia de las modificaciones de QuEChERS en la recuperación y el efecto de la matriz durante el análisis de múltiples residuos de plaguicidas en el suelo mediante cromatografía de gases/espectrometría de masas/espectrometría de masas y cromatografía de gases/electrodos/electrodos de partículas (GC/ECD/NPD). Ciencia ambiental. contaminación. res. 24, 7301–7314 (2017). https://doi.org/
10.1007/s11356-016-8334-1

48. Gempp, R. y Thieme, C. Efecto de diferentes métodos de puntuación en la confiabilidad, validez y puntos de corte de la Escala de Depresión del Centro de Estudios Epidemiológicos (CES-D). 28, 5–12 (2010). Terapia Psicol.

49. Vera-Villarroel, P. et al. Escala de Afecto Positivo y Negativo (PANAS): propiedades psicométricas y capacidad discriminativa en varias muestras chilenas. 42, 473–
491 (2019). https://doi.org/10.1177/0163278717745344. Evaluación Prof. de Salud

50. Garmendia, ML Análisis factorial: una aplicación a la
Cuestionario de salud general de Goldberg, versión de 12 ítems. 11, 57–65 (2007). Rdo.
Chil. Salud Pública https://doi.org/
10.5354/0717-3652.2007.3095

51. Martínez, MP y Gallardo, I. Evaluación de la confiabilidad y validez de constructo de la Escala de Calidad de Vida en Salud SF-12 en población chilena (ENCAVI 2015–6). 1568–1576 (2020). Rev. Med. Chile 148,

Muñoz-Quezada, MT et al. Confiabilidad y validez factorial de un cuestionario para evaluar la exposición a plaguicidas organofosforados en trabajadores agrícolas del Maule, Chile. 29, 79–93 (2019). J. Salud Ambiental Int.
Res.
https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1508647.

Soto-Brandt, G. et al. Evidencia de validez del Alcohol, 53.
Prueba de detección de tabaquismo y consumo de sustancias (ASSIST) en Chile. 26, 291–
300 (2014). Adicciones https://doi.org/10.20882/adicciones.27.

54. Hornung RW y Reed LD. Estimación de la concentración media en presencia de valores no detectables. 5, 46–51 (1990). https://doi.org/ Aplicación
Ocupar Environ Hyg
10.1080/1047322X.1990.10389587

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO ACEPTADO

Reconocimiento

El financiamiento para este estudio fue proporcionado por el FONDECYT nº1240899 de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) de Chile Gobierno. Los investigadores agradecen el apoyo y colaboración de la organización Maule Sur por la Vida y la Oficina Regional del Instituto Nacional de Derechos Humanos (Instituto Nacional de Derechos Humanos, Región del Maule).

Declaración de contribución de autoría de CRediT

RH, JN, AP, JT, SP: Escritura – borrador original, Visualización, Metodología, Software, Análisis formal. JA, BF, FC, CV, LZV, antes de Cristo, NL, BL, RC, CC, JPG, CS, PY, MIV, MVR, ACJ, TB: Escritura – revisión y edición, Investigación, Análisis formal. MTMQ: Redacción – original borrador, Redacción – revisión y edición, Metodología, Análisis formal, Investigación, Visualización, Software, Supervisión, Adquisición de financiación, Conceptualización, Validación.

ARTÍCULO EN PRENSA

Fondos

Esta investigación es parte de un proyecto más amplio financiado por el Fondo Nacional de Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH) y el Fondo Nacional para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (FONDECYT Regular No. 1240899) de Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID).

Machine Translated by Google
MANUSCRITO ACEPTADO ARTÍCULO EN PRENSA

Disponibilidad de datos

Los conjuntos de datos generados y/o analizados durante el presente estudio son
No está disponible públicamente debido a restricciones éticas y de confidencialidad.
Los datos podrán ponerse a disposición mediante solicitud razonable del
Autora correspondiente, María Teresa Muñoz-Quezada.

Declaraciones

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses conocido.
intereses financieros en competencia o relaciones personales que podrían tener
influyó en el trabajo presentado en este artículo.

Aprobación ética. El protocolo del estudio y el consentimiento informado fueron
Aprobado por el Comité de Ética Científica de la Universidad
ARTÍCULO EN PRENSA
Católica del Maule (Ley 165/2023).

Consentimiento para participar. La participación fue voluntaria y todos
Las personas dieron su consentimiento informado después de recibir información detallada.
Información sobre el estudio.